

SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION ET DE L'INGÉNIERIE

Directeur du département
Pierre GUILLOON

Président du Conseil scientifique de département
Yvan SÉGUI

Membres du Conseil scientifique de département

Hisham ABOU KANDIL
Olivier ALLIX
Claude AMRA
Brigitte BACROIX
Marise BAFLEUR
Philippe BLANC
Dominique BOLIGNANO
Thierry BRETHEAU
Catherine BRU-CHEVALLIER
Sébastien CANDEL
Jean-Jacques CHARRIER
Patrick COZZONE
Michel DEVILLE
Hervé DOREAU
Gilles FLAMANT
Thierry LE MOGNE
Philippe LOUBATON
Dmitry PEAUCELLE

Marie-Christine ROUSSET-LAGARDE
Pascale ROYER
Pierre-Yves SCHOBBIENS
Christian TENAUD
Claude VERDIER

PRÉAMBULE

Ce texte s'appuie sur les rapports préparés par les sections du département. Ces rapports donnent pour chaque section une analyse de la situation scientifique, des enjeux et des propositions pour de futurs développements. Ici, on a plutôt cherché à mettre en évidence les domaines où il faut réunir des compétences propres aux disciplines représentées dans des sections différentes. Élargissant la discussion on a également voulu définir des domaines où il était souhaitable, voire nécessaire d'établir des liens avec d'autres départements du CNRS.

Le département ST2I de création récente (2005) rassemble des chercheurs qui étaient préalablement répartis dans les départements STIC et SPI (domaines d'ailleurs toujours séparés au sens de la LOLF) Ce rassemblement au sein d'un même département doit pour nous être un élément important pour traduire en action scientifiques conjointes les complémentarités évidentes qui existaient entre les communautés autrefois réparties dans des départements distincts.

Les recherches menées au sein du département ST2I répondent à deux objectifs principaux :

– le développement des connaissances et de nouveaux concepts dans les champs scien-

tifiques propres au département ainsi qu'aux interfaces avec les autres champs scientifiques ;

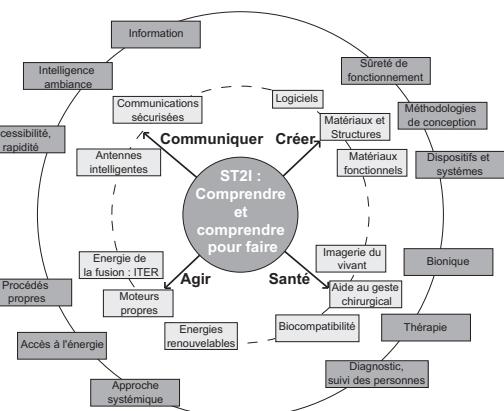
– l'élaboration de méthodes utilisables pour la conception, le développement et la réalisation d'«objets» matériels et/ou logiciels satisfaisant à un cahier des charges défini et remplissant des fonctions précises. L'enjeu majeur est ici l'innovation et le transfert vers l'industrie et la société. Dans le contexte international et national actuel, les grandes priorités doivent être l'énergie, la santé, les transports, la sécurité l'environnement et les télécommunications.

La marche vers ces deux objectifs ne se fait pas de manière indépendante. Outre la démarche scientifique normale qui vise à comprendre et expliquer le monde qui nous entoure, les disciplines de ST2I revendiquent une volonté de «comprendre pour faire». Les principes fondamentaux des sciences sont concrétisés en quelque sorte dans les réalisations de l'ingénieur et, inversement, les problèmes issus des questions pratiques d'ingénierie ou de besoins sociétaux font émerger des questions scientifiques fondamentales. C'est dans cet aller-retour permanent entre le domaine du savoir et celui du savoir-faire que se situe une des originalités majeures des disciplines du département ST2I. Traduire en termes de verrous scientifiques les problèmes posés par la réalisation des «objets» remplissant un certain nombre de fonctions est partie intégrante du travail de chercheur de ce département.

Ce positionnement particulier induit une autre conséquence très caractéristique de la nature des recherches en ST2I. La question traitée ne l'est jamais de façon isolée car les réponses doivent s'intégrer dans un système, une chaîne de solutions. Ainsi par exemple, les problèmes de traitement du signal qu'il faut résoudre pour analyser une image ne peuvent ignorer ni la façon dont l'image a été acquise (capteurs) ni l'utilisation qui en sera faite, par exemple dans une application thérapeutique des résultats du traitement de l'image. On voit donc ici apparaître la notion de «système» omniprésente dans la démarche du chercheur de ce département.

Ainsi, cette contribution va inclure non seulement la description de domaines transverses intra ou inter-départements mais aussi les actions à mener pour répondre aux attentes du monde économique et industriel d'une part et aux attentes sociétales d'autre part. Enfin, pour développer les domaines identifiés et pour mener les actions proposées on traitera dans la dernière partie, des outils qu'il faudrait mettre en oeuvre.

Le schéma ci-dessous permet d'avoir une vue globale des champs scientifiques couverts par le département qui se répartissent autour des 4 lignes directrices du département : créer ; agir, communiquer et améliorer la santé.



1 – ENJEUX TRANSVERSAUX AU DÉPARTEMENT ST2I

L'objectif est ici de dégager quelques ligne-forces qui nécessitent le regroupement de compétences se trouvant au sein de différentes sections et parfois dans d'autres départements du CNRS.

1.1 ACQUISITION ET TRAITEMENT DES PERCEPTIONS

L'acquisition des données ou des signaux, leur traitement et la restitution de l'information reconstruite sous une forme pertinente pour l'utilisateur constituent le cœur de la chaîne d'information dans un système. Le premier maillon de cette chaîne est le capteur. La conception de nouveaux capteurs, leur miniaturisation et le développement de réseaux de capteurs communicants sont des préoccupations centrales des équipes de recherche relevant du département ST2I. La réalisation matérielle de ces capteurs nécessite en effet des compétences dans le domaine des matériaux de l'électronique, des micro et nano technologies, qui devraient s'élargir de plus en plus vers la physique et la chimie afin de concevoir de nouveaux capteurs plus performants.

Le traitement de l'information est un axe majeur du département ST2I. Il s'agit là d'un thème de recherche très vaste allant du traitement des masses de données (issues par exemple de capteurs sismiques ou de réseaux de capteurs communicants) jusqu'à la prise de décision pour définir les actions à mener. Les défis sont nombreux pour concevoir des algorithmes plus performants, plus rapides et moins gourmands en mémoire permettant d'extraire des informations pertinentes dans un contexte de très faible rapport signal à bruit ou détecter des phénomènes caractéristiques dans des données massives. La question de la portabilité de tels algorithmes vers des micro et nano systèmes en déployant des architectures électroniques adaptées devient de plus en plus crucial. Le spectre scientifique des équipes du département ST2I permettrait de traiter presque la totalité de cette problématique en favorisant la collaboration entre la microélectronique, l'informatique et le traitement du signal et des images. En effet, les fondements méthodologiques du traitement de l'information sont variés allant de la théorie de l'information à l'algorithmique voire l'intelligence artificielle sans oublier l'apport des statistiques mathématiques.

La restitution de l'information pertinente sous une forme compréhensible et exploitable par un utilisateur se trouve au bout de la chaîne d'information dans un système. En effet, il est indispensable que le résultat des algorithmes de traitement soit présenté sous une forme adéquate pour l'aide à la décision d'un opérateur (imagerie médicale, radar, images satellites, etc.). Une ouverture vers des domaines des Sciences Humaines et Sociales traitant de l'ergonomie et des relations homme-machine peut s'avérer profitable dans certains cas pour les équipes relevant du département ST2I.

1.2 MODÈLES INCERTAINS ET INTERDISCIPLINARITÉ

Les modèles mathématiques et/ou comportementaux jouent un rôle majeur dans la production de connaissances des domaines de ST2I. Dans certains cas, le modèle est en soi un résultat de recherche qui décrit des phénomènes en situations. Dans d'autres cas, le modèle est une abstraction, image d'une multiplicité de réalités, sur la base duquel se construisent des résultats théoriques. De manière générale, les modèles jouent le rôle d'intermédiaires à la fois entre expérimentation, simulation et théorie ; entre résultats de recherche et application ; ou encore entre scientifiques de disciplines différentes intervenant sur un objet de recherche commun. Ces utilisations variées impliquent une versatilité des modèles : souhaités les plus exacts possible quand ils sont utilisés en simulation, et approximés quand il s'agit d'analyser une caractéristique dominante ou de procéder à une étape de conception. Avec l'évolution des connaissances et des techniques, les phénomènes et les objets étudiés sont de plus en plus complexes. Ils sont à la fois multi-physiques et multi-échelles spatiales et temporelles. Ils interagissent entre eux et leur environnement. Ils intègrent des phénomènes naturels et des systèmes artificiels comme les algorithmes de commande ou l'intelligence artificielle. Aussi la question du travail coopératif interdisciplinaire est centrale et

elle suppose l'entente des acteurs sur un ou des modèles. La modélisation incertaine peut être une piste pour l'élaboration de modèles adaptables aux contextes de travail.

Un des rôles des modèles est de permettre la simulation d'un phénomène pour lequel il est impossible ou bien coûteux de procéder par expérimentation. Dans ce cas, le modèle est conçu pour être une représentation la plus exacte possible de la réalité. Cependant, en conservant leurs caractéristiques principales, les modèles sont le plus souvent simplifiés, pour accélérer les simulations, pour faire l'analyse de comportements dominants, pour évaluer les effets de modifications, ou encore pour procéder à la synthèse de correcteurs. L'écart entre le modèle exact difficilement manipulable par des outils mathématiques et le modèle simplifié peut alors être représenté par des incertitudes. De même, en partant du constat que la réalité n'est que partiellement modélisable (conditions initiales inconnues, perturbations imprévisibles, etc.), que même quand elle l'est la connaissance des paramètres n'est possible qu'à un degré de précision près (variabilité des mesures, des processus de fabrication, tolérances, etc.), que ces paramètres varient entre différentes réalisations d'un même procédé voire au cours du temps et des conditions de fonctionnement (échauffements, usure, fautes, etc.), les modèles doivent contenir des éléments représentatifs d'incertitudes. Celles-ci peuvent par exemple se représenter par des intervalles de valeurs admissibles dans le cas de paramètres constants méconnus, ou encore par des sous-ensembles du plan complexe dans le cas de dynamiques négligées. Le modèle incertain résultant est une forme de représentation englobant la complexité dans une famille de modèles plus simples. La notion d'incertitude permet ainsi de passer d'un type de modèle à un autre dans le sens de l'approximation et de la simplification sans faire abstraction totalement des connaissances initiales. Par exemple, la linéarisation d'un modèle dans un voisinage donné d'un point de fonctionnement conduit à un modèle incertain contenant des termes bornés représentatifs de l'erreur. La modélisation incertaine est prometteuse pour le travail coopératif, va-et-vient

permanent entre étapes de simulation, d'analyse de propriétés aux différentes échelles et de conception, chacun avec leurs modèles propres. Les modèles incertains et les résultats de robustesse associés (garantie de performances pour toute valeur des incertitudes) sont assurément à encourager dans les disciplines des ST2I.

1.3 SIMULATION, MODÈLES, CALCUL INTENSIF

La simulation numérique constitue désormais un formidable outil de recherche et un moyen essentiel de conception et d'optimisation pour les applications. Les logiciels de simulation permettent l'intégration des progrès des connaissances, le partage des acquis réalisés et ils favorisent le travail par projet autour d'outils communs. Pour être efficaces, robustes et pertinents, les outils de simulation doivent rassembler des méthodes de calcul performantes, des modèles avancés et soigneusement validés et des architectures ouvertes et évolutives tirant le meilleur parti des ressources informatiques actuelles et futures. La simulation numérique est clairement au centre des activités du département notamment au travers de nombreux développements de modèles et de la validation des modèles au moyen d'expériences bien contrôlées et instrumentées. La simulation est aussi l'instrument privilégié de l'exploration de problèmes multi-échelles et multi-physiques. On peut ainsi aborder l'analyse de phénomènes particulièrement complexes comme la turbulence sans que soit nécessaire une compréhension fondamentale des mécanismes mis en jeu. Les outils numériques actuels permettent déjà de traiter des phénomènes couplés comme le rayonnement de bruit des jets turbulents, la dynamique des flammes turbulentes. Ils permettent également de réduire considérablement le temps et le coût de développement de produit par la réalisation d'essais virtuels comme dans le cas de crash automobile et conduisent à des progrès substantiels dans les domaines de l'aéroacous-

tique de la combustion de la tenue des matériaux ou du dimensionnement des structures. Le calcul intensif permet ainsi d'approcher des problèmes complexes au niveau de la physique, des mécanismes de couplage et de la variété des échelles mises en jeu. Les méthodes de discréttisation les plus avancées donnent accès à des problèmes géométriquement complexes et permettent ainsi de se rapprocher de la réalité des applications industrielles.

Cette révolution du numérique ne fait que commencer car les besoins sont immenses de simulation plus fidèles plus réalistes et plus rapides. Les simulations de demain seront non linéaires, à très grands nombres de degrés de liberté mêlant des échelles de temps et d'espace sur plusieurs décades, stochastiques, couplées pour représenter les objets étudiés et leur interaction dans leur environnement. Il s'agira de maîtriser de telles simulations de développer les méthodes permettant de les faire de façon robuste et efficaces de les adapter au GRID Computing à grande échelle de façon évidemment parallèle et extensive.

Il apparaît clairement que les progrès dans ce secteur vont nécessiter à la fois des machines et des réseaux puissants, au meilleur niveau mondial, largement accessibles aux chercheurs, une organisation dynamique, des projets fédérateurs, un soutien aux coopérations et aux équipes les plus engagées dans les simulations frontières. Il sera notamment important de favoriser les regroupements de modélisateurs, simulateurs, mathématiciens appliqués, spécialistes du génie logiciel et d'assurer la pérennisation et le partage des résultats. La mise en place de plates-formes intégrant les outils logiciels (à la fois commerciaux et issus de la recherche) ainsi que les modèles spécifiques à chaque discipline constitue une des clés du succès d'approches pluridisciplinaires pour la conception de systèmes complexes.

Il faudra en outre favoriser la proximité des chercheurs impliqués dans la simulation numérique et des expérimentateurs afin que les simulations et les modèles soient validés par la confrontation avec l'expérience.

Le domaine de la simulation est d'importance stratégique et mérite d'être renforcé de façon prioritaire.

1.4 DES MATERIAUX AUX STRUCTURES : FONCTIONNALITÉS ET LEURS ÉVOLUTIONS DANS LE TEMPS

Dans la plupart des situations réelles d'utilisation, les matériaux sont soumis à plusieurs types de sollicitations simultanées; bien souvent l'une de ces sollicitations est mécanique. Le traitement des effets de synergie entre sollicitations de nature différente nécessite en général la contribution conjointe de divers spécialistes d'horizon différents. Sans être exhaustif, on peut citer: thermomécanique, photonique, mécanosorption, piézoélectricité, magnétostriction, effets de l'environnement chimique ou biologique, irradiation, etc.

Les matériaux de structure sont généralement soumis à des sollicitations multiaxiales, non proportionnelles, aléatoires, dans des conditions de très haute ou de très basse température, sous de très hautes pressions, ou microgravité à très grande vitesse ou à de très faibles vitesses. Ces conditions de sollicitation sont trop complexes pour que des lois de comportement pertinentes soient déduites d'essais simples. Seuls de gros efforts expérimentaux, couplés à des moyens de simulation et en ayant recours aux méthodes inverses, permettront la production de lois de comportement réellement représentatives et fiables.

Le parc des installations industrielles et des ouvrages s'accroît sans cesse. Leur utilisation gagne en intensité et l'on souhaite souvent allonger leur durée de fonctionnement. Dans un contexte économique où les prévisions à long terme sont souvent sacrifiées devant le court terme, où il apparaît délicat de déterminer avec précision les coûts de maintenance et de réparation, le maintien et la garantie de la sécurité des installations et ouvrages deviennent une préoccupation prépondérante.

L'emploi prolongé des matériaux en conditions de service fait que leurs propriétés évoluent – le plus souvent se dégradent – par des mécanismes de vieillissement. Le terme «vieillissement» recouvre l'ensemble des évolutions de la microstructure des matériaux qui altèrent leurs propriétés d'usage, non seulement à cause du temps, mais aussi à cause de l'effet de l'environnement et des diverses sollicitations mécaniques ou thermiques. Le vieillissement peut conduire à un dommage macroscopique que l'on remarque aisément ; mais il peut aussi souvent se traduire par un simple endommagement interne non-apparent qui réduit les réserves de résistance du matériau et que l'on ne sait que difficilement détecter.

De très nombreux domaines socio-économiques sont concernés : les industries nucléaire, chimique, des transports, notamment aéronautiques, le génie civil, les sciences du vivant, l'industrie de la microélectronique. A priori toutes les familles de matériaux sont concernées ; c'est dans le cas des métaux que les mécanismes élémentaires sont les mieux connus, mais de très gros efforts restent à faire pour pouvoir prendre en compte les effets couplés (contraintes/corrosion/irradiation/température, etc.). Pour les autres matériaux, l'ignorance est encore plus grande, avec une mention particulière pour les polymères (pièces de structure, isolants électriques, colles, etc.) qui ne bénéficient même pas, le plus souvent, du recul historique. Il en est de même des composants optiques qui doivent véhiculer des densités de puissances croissantes, compte tenu du niveau d'intégration des composants (nanophotonique) ou des grands programmes en cours (énergie et défense).

En dehors de l'ensemble des efforts développés en mécanique et physico-chimie des matériaux, les efforts devraient plus spécifiquement porter sur :

– les méthodes d'auscultation et de caractérisation non-destructives ;

– le développement de modèles probabilistes capables d'augmenter leur capacité prédictive avec l'accroissement des données d'auscultation ;

– la constitution de bases de données résultant de l'étude des matériaux ayant vieilli «naturellement» en conditions de service ;

– la mise au point de règles d'accélération ou d'extrapolation du vieillissement pour les diverses familles de matériaux ;

– l'organisation de la mémoire pour les ouvrages et les grandes installations industrielles.

1.5 DES MATERIAUX FONCTIONNELS AUX COMPOSANTS ET SYSTEMES POUR L'INFORMATION ET LA COMMUNICATION

La recherche sur les nouveaux matériaux fonctionnels ou l'amélioration de leurs propriétés est un élément clé pour le développement de composants et dispositifs innovants au sein du Département ST2I. Cette recherche s'effectue en collaboration harmonieuse avec les laboratoires du Département MPPU. Parmi les nombreuses recherches effectuées, on peut citer :

– les oxydes à haute permittivité pour la nanoélectronique ou à basse permittivité pour les interconnexions ;

– les multicouches III-V pour multi-puits quantiques, les multicouches pour l'électronique de spin et le GaN, le SiC ou le diamant pour l'électronique de puissance ou l'optoélectronique ;

– les boîtes et nanofils quantiques IV-IV ou III-V, les nanostructures avec auto-organisation dirigée ;

– les métamatériaux, cristaux photoniques ou phononiques, couches minces optiques, fibres microstructurées et composants plasmoniques, etc., qui permettent par leur structuration d'aboutir à de nouvelles fonctions photoniques et micro-ondes (réfraction négative).

tive, réflectivité quasi-parfaite, antenne directionnelle, etc.) ;

– le contrôle des contraintes dans les couches actives et la compréhension des mécanismes physiques de dégradation dans un objectif de fiabilisation des nouveaux composants élaborés ;

– l'étude de la biocompatibilité des matériaux des microsystèmes pour les applications médicales ;

– les matériaux compatibles avec les conditions extrêmes du génie électrique (forts courants ou tensions, hautes performances d'isolation ou de tenue à long terme).

La recherche sur les composants et dispositifs est en partie basée sur les nouveaux matériaux qui, dans une conception « classique », permettent par exemple une amélioration notable en termes de puissance (électrique ou optique) et/ou de rapidité et de compacité. Une autre voie est basée sur de nouveaux concepts innovants utilisant, par exemple, une réduction notable des dimensions pouvant conduire à des effets quantiques ou mésoscopiques inexploités jusqu'à présent (source à photon unique, transistor à un électron, nanotube de carbone et électronique moléculaire, nanorésonateurs, etc.). Cette approche peut également conduire à des nouveaux composants comme les sources et détecteurs térahertz qui ouvrent un champ nouveau d'applications, en particulier dans le domaine de la sécurité et du biomédical. Ces deux premières voies peuvent être combinées dans des concepts innovants comme la logique magnétique avec déplacement de parois magnétiques. Une troisième voie est également possible avec l'amélioration des procédés technologiques qui peuvent désormais permettre l'accroissement significatif des performances des nanocomposants : CMOS multigrilles par exemple, ingénierie des contraintes, nanostructuration de surface ou une fabrication largement facilitée (composants microfluidiques par nanoimpression, etc.). Enfin, les recherches sur les pseudo-substrats et l'intégration monolithique de nouveaux matériaux sur silicium sont susceptibles d'accroître les fonctionnalités compa-

tibles avec la micro-nanoélectronique silicium (notamment fonctions optiques actives, capteurs, etc.), ouvrant la voie au développement de nouvelles filières industrielles.

La conception et la réalisation de microsystèmes, de nouveaux systèmes intégrés éventuellement reconfigurables, de systèmes de puissance, s'appuient sur la conception d'architectures nouvelles et sur une approche globale systémique nécessitant un ensemble de compromis qui permet une performance globale optimisée et innovante. Au sein du Département ST2I, les systèmes avec intégration monolithique (SoC) ou intégration multi puces (SiP), les microsystèmes incluant la microfluidique et la biocompatibilité, les microsources d'énergie ou systèmes de récupération d'énergie électrique sur puce, les systèmes de communication RF et antennes reconfigurables, les systèmes de puissance de gestion de l'énergie électrique et des énergies renouvelables, les systèmes à cœur optique pour les télécommunications et le sondage du vivant, etc. constituent des axes forts de recherche.

Ces différentes approches « composants et systèmes » nécessitent de mettre en œuvre des outils unifiés pour leur conception, leur modélisation et leur simulation. Ces outils doivent également prendre en compte une approche multi-échelle incluant les nouvelles propriétés des matériaux et dispositifs mésoscopiques. Les différents facteurs mécaniques, optiques et thermiques, de compatibilité électromagnétique, doivent être considérés dans une approche plus réaliste du système qui constitue ainsi une approche globale incluant l'assemblage et la fiabilité, et qui doit tenir compte des ressources et des conséquences du développement technologique sur l'homme et l'environnement.

La conception de composants élémentaires ou de systèmes complexes optimisés passe nécessairement par des approches multi-échelles mais aussi multi-physiques. Cette conception implique la création d'outils de synthèse et implique parallèlement la résolution de problèmes inverses. Ceci constitue un domaine de recherche très vaste, porteur en termes d'innovations sur les outils et surtout sur les fonc-

tions conçues par ces outils au sein des nouveaux systèmes et composants. Le développement d'une action conception et modélisation regroupant les disciplines et mettant en commun les outils et méthodologies pourrait être une des actions phares et fédératrices au sein du département ST2I.

De façon similaire, le développement d'une instrumentation performante et adaptée est indispensable. À titre d'exemple, les techniques de microscopie champ proche se sont révélées nécessaires dans la mesure des champs électriques, électromagnétiques et acoustiques, etc. permettant de valider les modélisations de nouveaux composants. Cette activité de recherche nécessite une approche globale, par exemple en nanotechnologies où les résistances de contact peuvent perturber notamment la caractérisation électrique dynamique des composants. On trouve également des avancées notables dans les techniques d'imagerie en milieu diffusant et des nouvelles microscopies optiques, avec des secteurs applicatifs variés comme la santé, la défense et le transport, la télédétection, etc. Par ailleurs, une activité de métrologie poussée est nécessaire à la validation de mesures dans des domaines où la caractérisation est amenée à des limites ultimes dimensionnelles, fréquentielles, etc.

Compte tenu des efforts financiers considérables qui sont consentis par de nombreux pays pour développer les micro et nanotechnologies, il devient de plus en plus important d'accroître le nombre et d'améliorer la qualité des équipements mis à la disposition des chercheurs. Il faut à la fois développer les équipements spécialisés localisés dans les meilleurs laboratoires du domaine, les grands équipements et plates-formes nationales qui sont à la disposition de l'ensemble de la communauté de recherche nationale, mais aussi assurer à ces équipements et plateformes une véritable pérennité par un soutien de fonctionnement récurrent. La mise en réseau des grandes centrales de technologies et leur reconnaissance comme un grand instrument national par le CNRS doit être une priorité.

1.6 OPTIMISATION ET CONTRÔLE DES FLUX MATÉRIELS

La problématique du contrôle des écoulements matériels associe les concepts de l'automatique et ceux de la mécanique des fluides pour atteindre un objectif de performance dans une large gamme de situations. On cherche par exemple à régler un moteur pour que le catalyseur placé sur l'échappement fonctionne dans les conditions qui assurent la réduction la plus poussée des émissions polluantes. Le contrôle est déjà largement utilisé pour piloter des procédés industriels mais on cherche désormais des modèles dynamiques de plus en plus précis et l'utilisation de retours d'informations issues de capteurs placés en sortie du procédé. On envisage aussi des configurations intégrées dans lesquelles le contrôle modifie en temps réel la structure de l'écoulement. Les recherches sur les contrôles actifs d'écoulement autour des objets mobiles (ailes d'avion par exemple) constituent un enjeu majeur.

La nature profonde des problèmes sera différente selon qu'il s'agit d'écoulements avec ou sans réactivité chimique, selon que les fluides interagiront avec des parois (fixes ou mobiles), selon que l'on aura des milieux mono ou multiphasiques, granulaires ou pas, etc. Tous les procédés d'élaboration ou de transformation de matériaux à partir d'une phase gazeuse ou liquide doivent intégrer le contrôle des écoulements dans la conception et l'optimisation des réacteurs. Les biofluides tel que le sang dans les artères posent aussi des problèmes rendus très difficiles par la contribution active de l'interaction paroi/fluide qui est susceptible de modifier les conditions d'écoulement. Sur cet exemple on voit bien que l'on peut facilement faire le lien avec les matériaux appelés à se substituer aux organes défaillants. Le très large domaine des matériaux poreux et membranaires entre aussi dans ce champ thématique et il est nécessaire pour résoudre les problèmes posés de réunir des communautés scientifiques diverses.

Les disciplines concernées par ces problèmes sont notamment la dynamique des

fluides, la combustion, les plasmas, l'aéro-acoustique, la science des matériaux, le contrôle des systèmes avec une incidence directe dans des domaines d'intérêt économique ou sociétal (santé, transport, procédés, élaboration des matériaux, etc.).

1.7 FLUX DE DONNÉES ET ACCÈS À L'INFORMATION

Le contrôle, la régulation et l'optimisation des flux de données afin de permettre un meilleur accès et une meilleure diffusion de l'information est un des grands défis de notre société. Relever ce défi nécessite une mobilisation et une combinaison de compétences provenant de différentes communautés relevant du département ST2I, ainsi qu'une ouverture vers le département MPPU et le département SHS. En particulier, pour pouvoir restituer les informations pertinentes pour un humain, à partir de données acquises à partir de signaux ou de capteurs, il est essentiel d'associer étroitement les architectures matérielles et logicielles et une algorithmique de traitement de l'information à différents niveaux d'abstraction.

Diverses approches pour améliorer le contrôle des flux de données dans les réseaux restent à concevoir et sont en perpétuelle évolution grâce aux avancées technologiques. Cela offre déjà aux informaticiens et aux automaticiens un sujet privilégié de collaborations et d'échanges. Les problèmes d'allocation de ressources dans les réseaux sont également au cœur de ces enjeux, et le développement de solutions plus efficaces devrait nécessiter également l'utilisation de techniques faisant coopérer étroitement les couches basses (traitement du signal) et les couches plus hautes (logicielles).

Une dimension importante du contrôle des flux de données concerne le codage et la cryptographie pour assurer la sécurité des données transmises. Sur cet aspect, des collaborations sont nécessaires avec les équipes ou laboratoires du département MPPU travaillant sur la cryptographie.

Avec l'augmentation permanente des capacités des réseaux, associée à la miniaturisation et la diversité des supports de stockage, les données et les informations à transmettre, à classer et à distribuer sont de plus en plus nombreuses, multiformes, multi sources et multi échelles. La gestion et l'interrogation de données disséminées et hétérogènes sont des enjeux majeurs pour permettre l'accès à une information fiable et pertinente, et sa restitution sous une forme compréhensible et exploitable par un utilisateur. Cela nécessite de faire coopérer des techniques variées de classification, d'extraction de connaissances à partir de données, de visualisation, et d'interaction homme-machine. Une ouverture vers le département SHS serait utile pour mieux prendre en compte les aspects liés à l'ergonomie qui sont trop souvent négligés dans les outils d'aide à la décision à partir de données.

1.8 SYSTÈMES EMBARQUÉS ET INTELLIGENCE AMBIANTE : NOMADISME, SÛRETÉ ET AUTONOMIE ÉNERGÉTIQUE

- À l'évidence, notre société exprime des besoins liés au désir de disposer à tout instant et dans des lieux les plus divers d'outils qui, dans le passé, étaient fixes et filaires. Ce besoin peut être décliné en de nombreux problèmes scientifiques et technologiques qui doivent réunir non seulement les chercheurs du département mais aussi ceux de la plupart des autres départements. Il serait par exemple intéressant d'analyser avec les chercheurs SHS les raisons de cette tendance et d'estimer sa pérennité. Ces nouveaux modes de vie entraînent aussi de nouvelles organisations sociales qui vont probablement engendrer de nouveaux besoins.

La prochaine décennie sera ainsi sans aucun doute marquée par le déploiement d'applications distribuées à large échelle sur des réseaux sans fil de *capteurs-actionneurs* dans des domaines aussi divers que l'ingénierie médicale, le contrôle d'accès, la sécurité des

équipements et le contrôle de qualité industrielle, la domotique, le transport, la surveillance environnementale, les matériaux intelligents, la défense, les loisirs... Dotés de capacités de perception et d'action, ces réseaux distribués vont permettre de réaliser des acquisitions de données en grand nombre permettant une meilleure résolution des mesures, mais aussi une fiabilité et une flexibilité du système plus importantes grâce à une topologie du réseau évolutive en fonction de la résolution souhaitée, de l'occurrence d'événements, des défaillances provisoires ou définitives des noeuds. La gestion de ces informations ne sera toutefois pas sans poser des problèmes en matière de sécurité et de protection de la vie privée.

Les défis scientifiques à relever sont nombreux et très dépendants de l'application mais peuvent être résumés à quatre grands enjeux où l'autonomie énergétique constitue le fil conducteur :

- d'une part, la réalisation de réseaux à très haut débit mettant en jeu des protocoles de communication adaptés à la contrainte de l'énergie ;
- d'autre part, la mise en œuvre de nouvelles générations de capteurs-actionneurs ;
- le développement d'architectures de communication reconfigurables en explorant un large spectre de fréquences (1 gGHz-100 GHz) ;
- enfin, le développement de sources d'énergie autonomes incluant stockage, récupération et conversion de l'énergie.

Afin de disposer de micro-sources d'énergie intégrées de très longue durée de vie, il est nécessaire d'envisager des solutions innovantes et intégrées de récupération de l'énergie (solaire, thermique, vibratoire, électromagnétique). Le concept de récupération de l'énergie n'est pas nouveau, cependant le défi majeur est ici l'intégration avec des objectifs de très forte miniaturisation, de réduction du coût du capteur, d'augmentation de la fiabilité et d'amélioration significative du rendement des transducteurs par l'utilisation de nouveaux

matériaux ; par exemple, de matériaux piézoélectriques meilleurs que le PZT pour la récupération d'énergie à partir de vibrations. Une meilleure compréhension de la physique de ces transducteurs et la mise au point de techniques de fabrication innovantes sont indispensables pour atteindre les objectifs de rendement visés. La plupart des solutions nécessitent d'une part, un stockage temporaire de cette énergie et d'autre part, l'émergence de microbatteries rechargeables qui constitueront les technologies clés permettant l'avènement de réseaux de MEMS autonomes et communiquant sans fil. Le verrou est ici la nécessaire miniaturisation qui requiert la mise en œuvre de technologies 3D pour conserver une surface d'électrodes raisonnable.

Concernant la domotique où le développement des TIC est particulièrement en retard par rapport au secteur des multimédias, les enjeux de gestion globale de l'énergie dans le bâtiment requièrent de nouvelles solutions technologiques et de nouvelles fonctionnalités en électronique de puissance (bi-directionnalité, transformateur intégré, etc.) pour disposer d'interrupteurs intelligents, autonomes et fortement miniaturisés.

Concernant la filière technologique, la mise en œuvre de ces objets autonomes et intelligents s'appuiera sur les technologies MEMS/NEMS associées aux technologies silicium avancées pour le traitement du signal. Notons au passage la nécessaire prise en compte dans les choix technologiques de la gestion environnementale dans le cas d'un déploiement du système dans la nature sans récupération des MEMS en fin d'opération.

L'approche de récupération de l'énergie doit absolument être couplée à une approche de gestion logicielle de l'énergie. Le concept de base est celui d'un compromis prenant en compte l'économie d'énergie, la permanence de la fonctionnalité du réseau, la résolution spatiale et temporelle de la mesure, les protocoles de transmission et de routage des données et la couche physique de communication (complexité de la modulation, portée, taille et reconfigurabilité des antennes, fréquence porteuse, etc.). Cet aspect global de la conception

requiert le développement de méthodologies de conception et de simulation, « bas niveau » et « haut niveau », de l'ensemble du réseau qui ne sont pas disponibles à ce jour. Un enjeu important qu'il n'est possible d'atteindre que par une action transversale au département concerne celui de la convergence matériel-logiciel, en particulier la prise en compte des contraintes matérielles pour la conception et le déploiement de logiciel sur réseaux de MEMS.

- Cette thématique est encore une fois par nature très pluridisciplinaire et très transversale, car elle nécessite la mise en synergie des compétences venant de plusieurs champs scientifiques couverts par le département ST2I, déjà en action au sein du GDR MNS (Micro et Nano Systèmes) dans le cadre du Groupe de travail Environnements intelligents.

leurs contributions soient efficaces, il convient d'établir un partenariat dans lequel chacun a des droits et des devoirs. C'est une des clés pour que les relations soient confiantes et durables.

Dans ce cadre général, il n'est pas étonnant de retrouver les grands problèmes de société au centre des préoccupations des chercheurs du département ST2I. Il s'agit notamment des attentes concernant la santé, l'énergie, les transports, l'environnement et la sécurité. La sécurité, la sûreté de fonctionnement et la qualité des services sont à l'évidence des demandes fortes et qui ne feront que s'accentuer dans les prochaines années. Ces préoccupations sont intégrées dans tous les domaines où le département ST2I engage des recherches et, bien que ne faisant pas pour cette raison l'objet d'un paragraphe spécifique dans la suite du document, le CSD considère que la prise en compte de ces préoccupations est fondamentale. On pense naturellement aux systèmes informatiques pour lesquels la protection est rendue d'autant plus importante que l'on a construit des systèmes complexes interconnectés. Mais il y a aussi les composantes matérielles des systèmes qui nécessitent une réflexion de fond quant à leur architecture et à leur mode de fonctionnement afin d'augmenter leur résilience face aux nouveaux risques imputables à la difficulté d'assurer, dès la production et en opération, la fiabilité intrinsèque des fonctions requises. Le raccourcissement des cycles de vie des produits et des phases de tests avant mise en production font de la maîtrise (ou prévision) des défaillances un enjeu majeur qui impacte aussi bien les recherches en matériaux qu'en capteurs qu'en traitement des données.

- Tous les départements du CNRS contribuent d'une façon ou d'une autre à donner des réponses à ces attentes. La communauté scientifique formant le département ST2I se donne toutefois quelques missions particulières sur les domaines suivants.

La proximité des chercheurs et laboratoires du département ST2I et du milieu économique et industriel les rend sensibles à l'impact de leurs recherches sur le développement économique sur l'emploi et le bien-être. Pour que

2 – LES RECHERCHES EN ST2I EN RÉPONSE AUX PRÉOCCUPATIONS ÉCONOMIQUES ET SOCIÉTALES

• Vis-à-vis du monde économique, les chercheurs du CNRS en général et de ST2I en particulier doivent jouer tout leur rôle mais un rôle spécifique qu'il ne faut pas confondre avec celui des laboratoires et des services de R&D industriels. Leur contribution se situe au niveau de la compréhension des phénomènes qui permet une optimisation de l'existant et au niveau des ruptures technologiques rendues possibles par la découverte de nouveaux matériaux, de nouvelles architectures, de nouveaux concepts, et par le parti que l'on peut tirer de la maîtrise des micro et nano-structurations.

La proximité des chercheurs et laboratoires du département ST2I et du milieu économique et industriel les rend sensibles à l'impact de leurs recherches sur le développement économique sur l'emploi et le bien-être. Pour que

2.1 INGÉNIERIE POUR LE VIVANT, DE L'IMAGERIE À LA ROBOTIQUE MÉDICALE ET AU GESTE MÉDICAL ASSISTÉ

• Le vivant est devenu l'un des enjeux scientifiques et sociétaux primordial de notre époque. Le vieillissement de la population, l'apparition de nouveaux virus, l'absence de médicaments pour des maladies connues depuis longtemps (cancer, Sida), les accidents, l'impact des pollutions sur notre organisme font que les aspects liés à la santé sont omniprésents dans la société d'aujourd'hui. Mais avant tout, il est encore nécessaire de comprendre le fonctionnement de notre organisme, aussi bien en situations physiologique que pathologique.

Le corps humain est constitué d'un assemblage de matériaux vivants différents, dotés d'une organisation très complexe. L'unité de base des matériaux vivants est la cellule. Les cellules se différencient et s'assemblent pour constituer des tissus présentant tous un caractère particulier. La stratégie consiste à considérer le matériau vivant (cellule ou tissu) comme un système intelligent organisé, doté de capteurs lui permettant de comprendre et d'interagir en permanence avec son environnement (déformation, régulation, remodelage, mécano-transduction, etc.). Les sollicitations extérieures (force, contact) activent des mécanismes complexes qu'il faut savoir appréhender. C'est ainsi que le département ST2I, qui possède une expertise dans le domaine des matériaux (Voir § 1.4), devra relever le défi consistant à appliquer ses savoirs dans le domaine des matériaux vivants. Pour cela, la clé résidera dans la capacité du chercheur à intégrer les démarches suivantes :

– *biomécanique*: coupler les approches mécaniques, physiques et biologiques. Utiliser des modèles simplifiés (modèles de cellules, de tissus) pour expliquer des mécanismes obtenus dans des expériences mécaniques simples, à toutes les échelles. Comprendre les limites des modèles et/ou les adapter, pour aller ensuite vers la complexité ;

– *biomatériaux* (*prothèses, «stents», etc.*): ils se doivent d'être conçus avec des propriétés mécaniques et de surface bien identifiées. Leurs propriétés de vieillissement devront aussi être analysées en détail. Il faut aussi intégrer la recherche sur les cellules souches pour la régénération tissulaire ;

– *techniques modernes d'imagerie* (*IRM, microscopie confocale, RMN, MEB, Ultrasons, tomographie optique cohérente, spectro-imagerie, microscopie non-linéaire*): il est maintenant possible d'imager le cerveau, les tumeurs, la circulation, afin de prévenir et guérir. Continuer à développer de nouvelles techniques en imagerie est une nécessité évidente. En conséquence, il faut concevoir des méthodes de traitement d'images performantes, qui, si elles existent parfois, ne sont pas toujours adaptées à chaque étude ;

– *bioinformatique* (*génomique, protéomique, criblage biochimique*). Ces techniques permettront d'identifier la diversité des espèces biochimiques en présence (gènes, protéines, cellules), de les quantifier, et de comprendre leur organisation (spatiale 3D) ainsi que leurs interactions multiples (voies de signalisation, transcription) ;

– *robotique médicale*: à partir des données de capteurs sophistiqués, on peut maintenant concevoir des systèmes de régulation optimisant les dosages, les thérapies, ou la microchirurgie. D'autres applications devront aussi concerter l'aide médicale, le handicap, et le geste médical assisté.

• Le succès de ces approches sera probable si la communauté scientifique impliquant les départements concernés (MPPU, ST2I, Sciences du vivant) se rassemble en définissant des objectifs et langages communs, tout en interagissant avec les autres structures concernées (INSERM, médecine, hôpitaux, biotechnologies). À ce titre, le département ST2I devrait pouvoir jouer un rôle majeur.

• Le département ST2I, qui possède une expertise dans le domaine des procédés devra relever le défi consistant à appliquer ses savoirs dans le domaine des systèmes biologiques: une part importante de ces modèles

d'étude ont une constituante biologique et cette partie vivante évolue comme un système, mais aussi dans un système, directement imposé soit par le procédé, soit par la nature même de l'environnement. La compréhension des biocatalyseurs étudiés doit donc examinée sous des contraintes spécifiques que le chercheur est amené à identifier avec précision. La réponse biologique étant directement liée à des contraintes et limitations associées avec son environnement, il va de pair qu'une véritable contribution à la biologie intégrative (*systems biology*) n'a pas de sens si la définition de ces contraintes manque de rigueur. Cette approche, applicable à des populations complexes, des souches isolées et des enzymes issues de ces souches, nécessite un effort considérable dans la maîtrise des outils moléculaires, et plus particulièrement des outils post-génomiques, mais étudie rarement avec autant de rigueur les contraintes physico-chimiques et mécaniques qui conditionnent la réponse biologique. Cette réponse, qui varie de manière spatio-temporelle, est par nature dynamique. L'élucidation de cette réponse est un enjeu majeur. À ce titre, la complémentarité des équipes scientifiques impliquant les départements concernés (ST2I, SDV, EDD) ouvre une possibilité de consolidation et de progression importante vis-à-vis de la compétition internationale.

2.2 LES MICRO ET NANO-TECHNOLOGIES AU CŒUR DES NOUVEAUX DÉFIS DE LA CHIMIE ET DU VIVANT

Le couplage des technologies de la miniaturisation à l'échelle micro et nanométrique avec les sciences du vivant et la chimie constitue un enjeu stratégique majeur des prochaines années. Ces nouvelles technologies vont bouleverser les domaines du diagnostic médical, de la pharmacologie, de la santé au sens large et auront des impacts significatifs dans les domaines du contrôle de l'environnement et de la sécurité alimentaire.

Du point de vue scientifique, l'enjeu est de créer l'interface technologique entre une surface, un capteur ou un système et des molécules le plus souvent dissoutes dans un solvant. Une voie qui sera probablement une des clés de ces technologies concerne l'auto-assemblage de structures moléculaires, mécanisme élémentaire dans les organismes vivants. L'étude de ces mécanismes à l'aide des micro et nanotechnologies constitue un véritable défi de recherche dont le but est à la fois de mieux comprendre le fonctionnement des cellules et des nano-bio-machines mais aussi d'utiliser ces assemblages sur des dispositifs artificiels via une approche biomimétique. D'importants efforts doivent être également portés sur le développement de technologies dédiées aux bio-puces optiques qui permettent de s'affranchir du marquage chimique en fluorescence, en particulier pour les domaines de la génomique, protéomique et diagnostic, mais également pour le criblage pharmaceutique haut débit. Une autre application réside dans l'exploitation de la force optique pour le transport de molécules, comme l'ADN ou les cellules. Dans les deux cas, il s'agit de développer des technologies à bas coût, non invasives et non destructives, exigences auxquelles répond l'optique.

Face à l'enjeu sociétal majeur de la santé s'orientant vers une plus grande sûreté de fonctionnement et de prise de décision, le diagnostic médical requiert le développement à faible coût de microsystèmes multifonctionnels et ultra-sensibles. La politique de recherche correspondante se trouve à l'intersection entre les micro, les nano et les biotechnologies, et concerne en association les départements Chimie, SDV et ST2I. Les enjeux sont tout à la fois sociétaux et scientifiques. Sociétaux car ils tendent à privilégier le diagnostic vis-à-vis de la thérapie, scientifiques car ils vont permettre la compréhension des phénomènes biochimiques et/ou biologiques à l'échelle de l'organe, de la cellule et/ou de la protéine.

Par analogie, la stratégie du département ST2I doit se concentrer sur une politique de recherche multi-échelle, *i.e.* nano, micro, macro, dont les composantes sont par essence étroitement imbriquées :

– le nano-diagnostic : étude et implantation de nanoparticules et de nanosondes en vue de l'identification précoce de pathologies au niveau d'une ou de plusieurs cellules à partir de techniques d'analyse incluant l'imagerie ainsi que l'utilisation de nanosystèmes de détection ;

– l'intégration des techniques de diagnostic médical dans le cadre des microtechnologies : étude et réalisation technologique de micro-nanosystèmes (incluant la détection, la traduction, la chaîne de mesure et de traitement des données, l'actionnement et/ou l'autonomie énergétique) en vue de la mesure et du contrôle en continu de grandeurs biochimiques et/ou biologiques *in vivo* ou au plus près du patient ;

– le développement de « laboratoires d'analyse sur puces » : étude et réalisation de systèmes fluidiques permettant la préparation et l'analyse d'un échantillon biologique ou d'une substance pharmacologique au plus près du patient et en temps réduit en vue de diagnostics personnalisés rapides.

La chimie connaît de la même manière des perspectives nouvelles suscitées par des objectifs de sécurisation, d'optimisation et de diversification des procédés (réduction des transports de matière, réduction des quantités stockées, énergétique, conditions réactionnelles inaccessibles aux réacteurs macroscopiques, etc.) et d'accélération du processus de développement de produits nouveaux à travers la chimie combinatoire. Les matériaux prometteurs dans le domaine des capteurs chimiques sont les nanotubes à base de différents matériaux (C, GaN, ZnO, etc.) qui, de par leur structure, laisse espérer une sensibilité à la molécule unique.

Avec les biopuces, les laboratoires sur puces, les microréacteurs, chimie et biologie amorcent aujourd'hui une demande convergente forte et durable vers les micro/nanotechnologies : un des points-clés de cette jonction se situe au niveau de la micro/nanofluidique qui anticipe une technologie de base, aussi importante et stratégique que la micro-électronique des années 50, pour le développement de composants et de systèmes intégrés.

2.3 IMPACTS SOCIAUX DES OBJETS TECHNOLOGIQUES, ACCEPTABILITÉ ET ÉTHIQUE

Les dernières dizaines d'années ont vu l'accélération du transfert de connaissances nouvelles vers des technologies innovantes qui se sont massivement imposées dans de multiples secteurs de la société. Parmi celles-ci on trouve : les moyens de transport rapides et accessibles à un plus grand nombre ; les moyens de communication mobiles ; la génétique au service de l'identification humaine, le diagnostic de maladies et potentiellement leur guérison. Ces nouvelles technologies ont indéniablement eu des impacts importants sur les sociétés humaines et sur leur environnement. De ce fait elles ont comme toujours provoqué des réactions sur leur acceptabilité, sur l'éthique de leur utilisation, sur leurs méfaits à long terme, sur l'accès planétaire à leurs effets bénéfiques (fracture Nord/Sud en particulier). Les réponses à ces questions viennent inévitablement avec un certain décalage car nécessitent des temps de réflexions et de débat. Cependant, à mesure que le rythme de diffusion des technologies issues des connaissances s'accroît, les questions sociétales se doivent d'être pensées le plus en amont possible.

Ceci passe par des relations plus étroites entre disciplines de ST2I grandement pourvoyeuses d'objets technologiques et des SHS. Ces relations nous les savons complexes à construire du fait de la spécialisation extrême des chercheurs et une forme de coopération interdisciplinaire du type « services rendus » (datation d'un fragment d'os, validation juridique d'un nano-composant, etc.) est souvent un achèvement considéré comme satisfaisant. Mais répondre aux enjeux formulés suppose d'aller au-delà, d'avoir une démarche co-construite de problématiques de recherches communes.

Des pistes de telles problématiques communes sont à trouver là où l'usage des objets technologiques a pu réorienter leurs fonctionnalités et conduire à des développements nou-

veaux. Ces situations sont nombreuses, par exemple concernant les technologies de l'information et de la communication. Le réseau Internet a eu pour effet de faciliter les échanges d'informations puis par l'usage est devenu une source de connaissances. Les bases de données sont devenues de plus en plus riches et nombreuses car elles ont provoqué la création de fonctionnalités d'interrogation de ces bases qui vont jusqu'à bouleverser nos capacités cognitives et modifier le raisonnement scientifique. Les évolutions des logiciels globalisés de gestion des organisations se font en relation avec les réactions et adaptations sociales aux capacités de surveillance, d'aide à la décision, de prescription et d'évaluation. Ainsi, il est certain que les champs de recherche en interaction entre sciences de l'ingénieur soucieuses de produire des concepts et technologies répondant à des besoins humains et les sciences humaines et sociales, se développeront dans l'avenir. Le CNRS, présent sur des secteurs comme le traitement informatique du langage ou sur la représentation virtuelle des architectures et paysages, qui crée récemment un institut des sciences de la communication ou encore qui se lance dans un projet de musées virtuels, a les capacités à explorer ces interfaces. C'est en développant le nombre de sujets de recherche précis, enrichissants pour l'ensemble des disciplines impliquées, que découleront, entre autres, les outils pour un développement socialement et durablement harmonieux d'objets technologiques et informatiques.

2.4 ÉCO-CONCEPTION ET SYSTÈMES DURABLES

L'éco-conception est une démarche visant à intégrer l'environnement au processus de conception et d'élaboration d'un produit ou à la mise en œuvre d'un service. Cette démarche a pour objectif principal de diminuer les impacts environnementaux des produits sans remettre en cause la qualité, les coûts et les délais fixés. Mais surtout la démarche d'éco-

conception va plus loin ; dans un contexte concurrentiel fort où il est difficile de rester compétitif, cette démarche permet également de stimuler la créativité, de diminuer les coûts de structure et d'approvisionnement en matières premières. L'éco-conception est également un moyen pour répondre ou précéder les réglementations environnementales de plus en plus contraignantes. Elle offre enfin des réponses à l'attente des consommateurs de plus en plus sensibles aux produits respectueux de l'environnement. L'éco-conception est une démarche basée sur la prise en compte du cycle de vie. Chaque produit naît, vit, meurt, et a des impacts à chacune de ces étapes. En réalisant une analyse du cycle de vie, il est possible de répertorier et de quantifier ces impacts. Ainsi il est possible de mettre en relief les phases les plus impactantes pour l'environnement et de travailler afin de les améliorer. L'analyse en amont de toutes actions correctives est indispensable avant de la mettre en place, afin de ne pas transférer les impacts d'une phase du cycle de vie à l'autre. Une approche du cycle de vie donne une vision globale permettant ainsi d'éviter ou d'arbitrer les transferts de pollution. Cette démarche est donc multi-étapes mais aussi multi-acteurs et multi-critères. Multi-acteurs car elle fait appel à différents intervenants lors du cycle de vie, puis elle est multi-critères car elle prend en compte divers aspects environnementaux (pollution de l'air, de l'eau, des sols, toxicité, utilisation des ressources naturelles, etc.).

2.5 ÉNERGIE : GÉNÉRATION, STOCKAGE, DISTRIBUTION

L'énergie constitue un des enjeux les plus importants pour l'avenir avec la disparition prévisible des ressources fossiles. Dans ce contexte, les recherches sur le thème de l'énergie et dans les disciplines scientifiques impliquées auront une importance considérable. Les travaux doivent se développer sur les sujets les plus actuels sans toutefois négliger des domaines plus classiques. Il est utile de rappeler par

exemple, que la combustion est impliquée dans la production de 85 % de l'énergie primaire et que cette situation va probablement prévaloir dans l'avenir à moyen terme, avec cependant des évolutions dans les poids respectifs des moyens de production d'énergie. Il faudra donc poursuivre les recherches en combustion, une discipline clé pour de nombreuses applications et, en parallèle mener des travaux sur les nouveaux carburants, la séquestration du CO₂, les nouveaux concepts de conversion de l'énergie et optimiser ou proposer des procédés économies.

La décision de construire ITER à Cadarache a des implications profondes, tant sur l'organisation de la communauté académique que sur l'évolution de ses thématiques de recherche. Les équipes CNRS concernées, qui relèvent essentiellement des départements MPPU et ST2I, disposent de compétences pluridisciplinaires et d'un savoir-faire éprouvé sur des sujets importants pour la fusion telles que les instabilités, le transport turbulent, l'interaction plasma-paroi, et les matériaux sous irradiation. Cette compétence combine la théorie, la modélisation et l'expérimentation, au travers notamment du développement de diagnostics et d'expérimentation sur des très grands équipements et des installations de plus petite taille. Une fédération de recherche est en cours de création et permettra de renforcer la coordination entre les équipes de recherche.

Tous les scénarios énergétiques prévoient une croissance importante des énergies renouvelables (EnR) dans le bilan mondial. Leur développement nécessite l'intensification des recherches sur les procédés de conversion (par exemple, composants pour la conversion de l'énergie solaire photovoltaïque ou thermodynamique ou procédés de production d'hydrogène), les méthodes de stockage (thermique et électrochimique) et les réseaux de distribution (architecture à différentes échelles, gestion). Ces recherches sont généralement pluridisciplinaires, elles doivent être menées en relation avec les départements Chimie (matériaux), MPPU (concepts physiques) et SHS (intégration des EnR par les usagers). Le thème de l'utilisation de la biomasse notam-

ment comme source de nouveaux carburants à partir du traitement de la biomasse lignocellulosique devrait être traité en liaison avec SDV, INRA et IFP.

Les piles à combustibles posent des problèmes relatifs aux matériaux et aux propriétés électriques des solides qui pourraient être abordés par des associations avec les départements Chimie et MPPU.

Un autre domaine important où les problèmes d'énergie sont critiques concerne le bâtiment. En effet, ce dernier représente 46 % de la consommation énergétique nationale et 25 % des rejets de CO₂. La pénétration des technologies de l'information y est particulièrement en retard. Le concept à développer est celui de «bâtiment intelligent». Les enjeux majeurs en termes d'énergie sont d'une part, l'introduction d'énergies renouvelables en complément des conventionnelles et d'autre part, la gestion globale de l'énergie dans le bâtiment en s'appuyant sur les technologies avancées de la microélectronique (capteurs, actionneurs, interrupteurs intelligents, etc.) et de communication.

Enfin, en lien avec les aspects de nomadisme et d'énergie distribuée développés précédemment, les recherches dans les domaines de l'énergie devront intégrer les notions de micro-sources d'énergie pour les réseaux de capteurs sans fil.

3 – UNE POLITIQUE DU DÉPARTEMENT POUR RÉPONDRE À CES ENJEUX

3.1 POLITIQUE DE RESSOURCES HUMAINES

Le support en termes de techniciens et ingénieur sera un élément essentiel pour atteindre les objectifs que fixera le plan stratégique.

Trois éléments de nature différente devront être pris en compte :

– le premier, très classique, sera l'affectation de ressources humaines nécessaires en adéquation avec l'ampleur et l'ambition des objectifs scientifiques et technologiques ;

– le deuxième concerne la réactivité dans ces affectations. La conduite optimale de beaucoup de projets menés dans le département nécessite une réactivité beaucoup plus importante que celle que nous connaissons aujourd'hui. Il s'agit soit de ne pas perdre une technicité souvent unique soit de mobiliser suffisamment vite les forces nécessaires pour être crédible et performant vis-à-vis de nos partenaires industriels. Cette question ne peut pas être résolue par le développement des CDD qui ne permet pas de pérenniser la compétence mais par une gestion prévisionnelle qui est à mettre en place de façon urgente. Dans le même ordre d'idées, l'interdisciplinarité peut nécessiter dans certains cas la mise à disposition en faveur d'un champ scientifique donné d'une technicité acquise et maîtrisée dans un autre champ scientifique. Ce transfert gagnerait en efficacité et en dynamisme s'il était porté par des ingénieurs mis à disposition pour adapter et planter une technique dans un contexte nouveau ;

– le troisième est lié à la formation continue de nos ingénieurs et techniciens pour accompagner les évolutions de nos champs thématiques. On doit même rajouter nos administratifs et gestionnaires tant la complexification des procédures européennes et nationales mais aussi internes à l'organisme peut s'avérer chronophage pour des chercheurs qui seraient mal soutenus par des administratifs.

3.2 POLITIQUE LOGICIELLE

Partant du constat que dans le domaine des ST2I les logiciels jouent aujourd'hui un rôle majeur à la fois dans la diffusion de connaissances et dans la création de normes sociales et

technologiques, le CNRS se doit d'affirmer une politique claire vis-à-vis de la production de logiciels. Du point de vue de la production et de la diffusion de connaissances, les logiciels petits ou grands doivent parvenir à un statut analogue à celui des publications avec des possibilités de référencement et de publicité adéquats. De plus, ces logiciels servant de support pour le transfert de résultats de recherche vers les champs applicatifs, ils se doivent d'être de qualité technique et légale appropriée. Mais le CNRS n'est pas uniquement producteur de logiciels et comme les autres acteurs se trouve soumis aux effets normatifs des standards et des positions dominantes. Outre le coût des licences commerciales induit, cette situation contraint les possibilités créatives et innovantes. Le CNRS se doit donc de penser une politique vis-à-vis des logiciels qui soit en articulation entre logiciels « libres » les plus à même d'assurer la créativité et l'accessibilité de tous aux connaissances et logiciels commerciaux plus à même d'avoir un impact économique.

3.3 PLATEFORMES TECHNOLOGIQUES ET LOGICIELLES

Le réseau national des plates-formes de Recherche Technologique de Base (RTB) a été mis en place pour doter la France des infrastructures et des moyens techniques importants lui permettant de répondre aux enjeux des nanotechnologies. Ces grands équipements sont la pierre angulaire des recherches avancées au département ST2I en technologies génériques de fabrication collective, procédés d'intégration (fonctionnalisation, interfaces, nano structuration, etc.) incluant l'intégration de nouveaux matériaux et technologies d'assemblage et d'encapsulation. Afin de répondre avec le plus d'efficacité aux différents défis des nanotechnologies, il est important que ces centrales RTB fonctionnent en réseau et soient complémentaires. Un des rôles majeurs qui sera la clé de la réussite des nanotechnologies, concerne l'ouverture de ces centrales RTB à

toutes les communautés scientifiques afin de mettre en synergie les pluridisciplinarités nécessaires au développement de ces nouveaux objets et systèmes nanométriques répondant aux divers défis sociétaux de la médecine, la chimie, la physique, etc. Ainsi, elles doivent fédérer les actions des centrales de proximité mises en place par le Ministère qui, dotées de moyens spécifiques, ne peuvent réaliser des objets complets que les grandes centrales sont à même de fabriquer grâce à leurs technologies génériques.

Outre le support expérimental aux recherches amont, les grandes centrales RTB se doivent également de permettre un transfert de ces nouvelles technologies vers l'industrie. En particulier, elles doivent s'ouvrir aux PME-PMI qui ne peuvent pas se doter des infrastructures nécessaires à la réalisation de ces objets innovants. Les structures de laboratoire commun avec mise en commun de personnels peuvent alors être un outil clé de la réussite du transfert industriel.

De la même façon que les moyens technologiques ont été regroupés, il serait également judicieux de regrouper des moyens lourds de caractérisation.

3.4 RÉSEAUX SCIENTIFIQUES OUVERTURE EUROPÉENNE ET INTERNATIONALE

Dans un contexte politique où se mettent en place de nombreuses structures régionales et thématiques et où les financements se font de plus en plus ciblés sur des individus, le CNRS se doit, par sa place particulière à la fois nationale et multi-disciplinaire et par son rôle sur la scène européenne et mondiale, de proposer des outils de coopération scientifique toujours plus efficaces. Ceci passe par les outils existants de coopération internationale, les GdR, les fédérations, les laboratoires communs

etc. mais suppose de leur donner des moyens nouveaux. Ces structures sont les éléments essentiels pour la constitution de communautés scientifiques, plus ou moins portées vers les applications, l'expérimentation, etc. c'est-à-dire partageant une culture propre. Elles doivent avoir les moyens de s'organiser, de se réunir et de communiquer au travers de séminaires de conférences et de publications. En lien avec les recherches spécifiques au département ST2I, ces structures coopératives doivent en particulier pouvoir impliquer plus fortement les industriels et ainsi permettre une plus grande porosité des recherches vers le milieu économique. Une piste pour cela serait de leur donner un statut d'outil de formation permanente des ingénieurs et techniciens de l'industrie, avec possiblement des ateliers spécialement conçus en ce sens.

Politique internationale, GDR, Fédérations, Laboratoires communs, Équipes projets, etc.

À l'horizon 2020 on peut raisonnablement penser que l'avancée des sciences et des technologies passera par la structuration européenne, voire au-delà, de la recherche. Il faut que le CNRS anticipe plus fortement qu'aujourd'hui cette évolution et soit force de proposition pour créer des laboratoires européens dans lesquels ses chercheurs seraient géographiquement réunis avec leurs collègues des autres pays. Cette démarche passe par une identification claire et sans concession de nos points forts et spécifiques et l'identification des équipes partenaires.

À l'autre bout de cette organisation, disons européenne, engageant sur des périodes longues l'organisme, il faut donner la place à des « actions commando » ou seraient associés des chercheurs de différents laboratoires au sein d'équipes avec comme mission de lever un verrou scientifique ou technologique. Cette notion « d'équipe projet » nous semble de nature à dynamiser un système sans casser la dimension « laboratoire » qui reste la brique de base de notre organisation.